

知識工学的アプローチによる橋梁の論理的表現の試み

Knowledge Representation of Bridges

北川 徹哉

伊藤 義人

Tetsuya Kitagawa Yoshito Itoh

【抄録】橋梁を構成している部品間の相互的な関係を知識表現し、より高度な処理を可能とする知識ベースシステムについて、プロトタイプを作成して、その可能性を実証してしている。ここで作成された知識ベースシステムは、とりあえずプレートガーダーを対象としている。システムの基本言語はPROLOGを使用しているが、数値処理やグラフィック処理のためにFORTRANとデータベースツールRIMおよび3次元グラフィックライブラリーPHIGSを使用している。知識ベースの利用例として、専門用語の検索機能や写真などの画像情報も備えた簡単な教育システムを作成している。

【Abstract】 In this paper, the creation of the bridge knowledge base system for representing the bridge parts and their relations is dealt with. The prototype system developed by authors proves that the bridge knowledge-based system can potentialize the knowledge related to bridges and make the high level data processing possible. This knowledge base is aimed to help in understanding of the whole bridges using both the knowledge processing and three dimensional graphics. The main language used in the system is PROLOG. RIM, PHIGS and FORTRAN are used to support the numerical and graphic processing. A simple education system is developed as one of the application of the knowledge base of I-plate girders.

【キーワード】橋梁, 知識ベースシステム, PROLOG, 知識表現, プレートガーダー, 3次元グラフィックス, データベース

【Keywords】 bridge, knowledge-based system, PROLOG, knowledge representation, plate girder, 3-D graphics, database

1. まえがき

人工知能(AI)というコンピュータ利用の概念が生まれ、その研究分野の一部であるエキスパートシステムの土木工学への適用は、これまでに数多く試みられてきた。橋梁・構造工学分野での具体的な研究例は、損傷度診断、寿命予測、橋梁形式選定、景観設計・評価などのほか従来型のCADへ知識を付加した知的CADなど、幅広く行われている¹⁾。

知識は、コンピュータ利用に柔軟性とより人間に近いレベルでの処理の可能性を与えるが、我々が知識処

理を備えたシステムを構築しようとする際、知識表現¹⁰⁾の対象を正確にとらえ、システムの使用目的に対する最低限の条件を満たし、かつ可能な限り普遍性をもった柔軟な形で記述されていなければならない。すなわち、知識として利用するための高いポテンシャルが要求されるといえる。高層ビルディングの一次設計を知識処理によって支援するエキスパートシステムは、HI-RISE¹⁾などで試みられているが、本研究は知識工学の立場に立ち、対象を橋梁として、その部品構成について知識ベースとして記述する方法を提案する。

連絡先: 名古屋市千種区不老町

名古屋大学工学部土木工学科

電話 052-781-5111 内2737

FAX 052-783-1857

コンピュータ上で橋梁の組織的な全体構成を知識の面からとらえ論理的表現を試みるとともに、人間に対して形状を理解させるために、知識処理だけでは扱いきれない部分においては、3次元のグラフィックス処理を併用した橋梁知識ベースシステムの開発を試みる。橋梁は、小さなものでも複雑で非常に多くの部品から成り立っており、それらの相互関係を知識ベースとして記述する試みは少なく、全体構成を見渡せる形に表現するためには、知識処理とグラフィックス処理の併用が必要であると思われる。本研究では、知識処理、従来型データベース、そしてグラフィックスの長所を相互的に引き出すシステムを構築する。

現在のシステムは、まだ基礎的かつ試験的な研究段階であるが将来的には次の3つが可能となるように考えている。i)設計支援としてCADのデータを知識と呼べるレベルまで持ち上げ管理するシステム。ii)工場での製作や現場での架設には詳細な数値データの以外にある程度まとまった知識が有効な場合があるので、何らかの制約に基づく部品抽出や投入、変更、組立などに柔軟に対処する知識処理システム。iii)橋梁架設後、橋梁の構造や特性を記録しておき維持管理の際に情報を与え、また補修材の組み入れや古い部品の交換による知識変更を容易にするシステム。

なお、本研究で取り扱う知識ベースの応用の一つとして、ここではシンプルな橋梁教育システムへの組み込みを試みた。

2. 開発環境

(1)ハードウェア

知識ベースは橋梁の規模、すなわち部品数に比例して大きくなり、また用いるソフトウェアの数や今後の拡張性を考慮し、大容量メモリー、高速処理、開発環境の充実などといったメリットから、ワークステーション(Sun Sparc Station)を使用した。また、図や写真をイメージデータとして読み込むために、イメージスキャナ(EPSON GT-4000)を使用した。

(2)ソフトウェア

知識記述及び知識処理のために、Prolog²⁾をシステムのメイン言語とし、数値処理を補う言語として、Fortranを使用した。また、3DグラフィックスツールとしてPHIGS⁷⁾、さらにそれに必要な数値データを管理保

存するデータベースとして、ワシントン大学で開発されたRIM⁸⁾というリレーショナルデータベースマネジメントシステムを採用した。これらは、図-1のように構成されている。

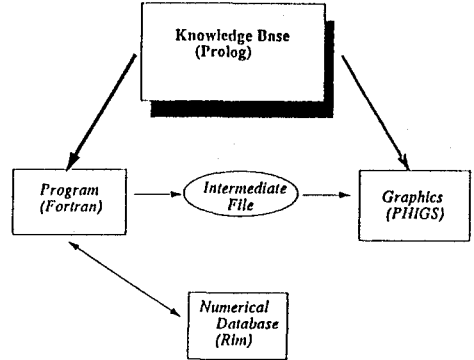


図-1 システム構成

3. 橋梁知識ベースシステム

本システムは、知識処理を行うモジュールとグラフィックス処理を行うモジュールとに分けられる。

(1)知識記述

知識記述法として要求されるのは、知識の十分な表現、記述しやすいこと、理解しやすいことである。これらを考慮し、まず各橋梁部品にインデックスを任意に付け、i)各部品間の接続状態、ii)位置状態、iii)方向性、の3点から注目した記述を提案し、それぞれ、以下の3つの述語(predicate)で定義する。

- i) connect(
part-name1, [list1],
part-name2, [list2],
[condition]).
- ii) position(position-name, [list]).
- iii) side(direction-name, [list]).

この記述方法にしたがって図-2(a)を記述すると、以下のようになる。

```
connect(web, [g1w1],
```

```

upper_flange, [gluf1],
    [fillet_weld]).
connect(web, [glw1],
    lower_flange, [glfl1],
    [fillet_weld]).
connect(web, [glw1],
    h_stiffener, [ghls1r],
    [fillet_weld]).
connect(web, [glw1],
    v_stiffener, [glvs1r],
    [fillet_weld]).
connect(upper_flange, [gluf1],
    v_stiffener, [glvs1r],
    [fillet_weld]).
connect(lower_flange, [glfl1],
    v_stiffener, [glvs1r],
    [fillet_weld]).
position(girder1, [gluf1, gluf1,
    glfl1, ghls1r,
    glvs1r]).
side(right, [ghls1r, glvs1r]).
    
```

提案した記述方法は高いレベルでの知識表現であり、接続状態をより詳細に記述することが必要であればこれらの3つの記述では不足である。すなわち各部品の形状についての知識を記述⁶⁾した上で、どの面で接続されているかを記述すればより厳密な知識表現になる。

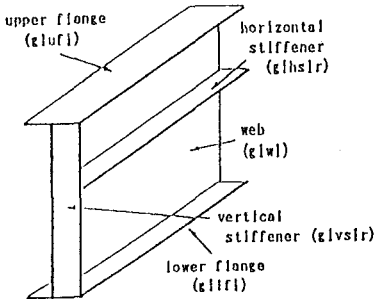


図-2 (a) I-プレートガーダーの例

(2)知識再編成

これらの記述は理解しやすく、それぞれを橋梁の局所に絞って考え記述できる。このままでも知識ベースとして利用価値があるが、ローカルな知識の集合であり、知識の利用に際してもこの域を出ない。そこで、これらの基本となる知識を必要に応じた形で再編成して、グローバルな上位レベルの知識を自動生成する。表-1に示すように、知識再編成が完成するまでに、5段階を必要とし、段階をおうごとに知識は、まとめあげられ、最終的には1つのグローバルな知識となるこの過程で既存の知識の他に新たに生成された知識をも用いている。

表-1 知識再編成の過程

Step	Predicates	Top	Behavior
1	connect side position	----	Collect indexes
2	connect side position	name	Add name and direction
3	connect side position	position	Add position
4	connect side position	position	Sort and Concatenate
5	connect side position	super structure	Concatenate all

□ Key for Restructuring

また、知識再編成の概念としては収束的思考 (convergent thinking) に従うものである。つまり、ばらばらなアイデアの集合をまとまりのあるものに構造化集約化していく過程を示す。本システムの場合、各記述 (predicates) 間の関係を、橋梁という構造に従って図-2 (b) のようにまとめあげている。

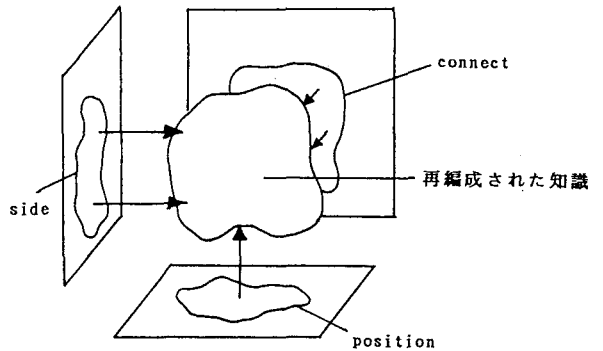


図-2 (b) 知識再編

知識をまとめ、用途に合わせた要約⁵⁾を行っている

これは前述のconnectを再帰的に探索することで解決してしまう。接続媒体や寸法、損傷状態などに関する情報を組み込めば、危険箇所の推論も可能になる。その他に橋梁部品の一部が破壊した場合の影響など応用の幅は広く、また蓄えられる知識が多いほど、その可能性は広がると言える。

(4)グラフィックス

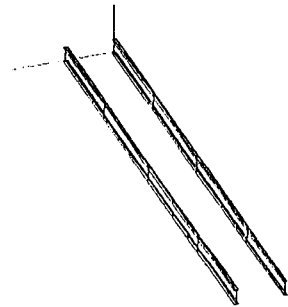
知識ベースの形で記述される形状を人間に理解させるためにグラフィックス処理を行う。グラフィックスに必要な数値データは、データベース内部で図-6のようにテーブルごとに管理されており、インデックスを知識処理とのパイプとしている。知識処理と独立させることにより、相互的なデータ破壊を防ぎ、管理や整理を容易にしている。図-6のように、テーブルにはグラフィックスモジュールへ渡される各部品の寸法に関するデータ (length,height,thicknessなど) や位置情報 (px,py,pz,回転情報など) が含まれ、また、重量計算などで必要とされる材料情報が格納されている。材料などの単位重量などの物理的な性質に関する情報は、他のテーブルにまとめて格納されており、テーブル間でリンクしておくことにより、独立性を保ち、その有効利用を可能としている。

(table web)

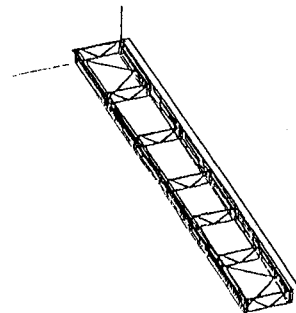
Index	len	hol	thl	px	py	pz	theta	phi	material
g1w1	7900	1000	9	0	0	0	0	0	ss400
g1w2	8626	1000	9	7908	0	0	0	0	ss400
g1w3	9968	1000	9	16531	0	0	0	0	ss400
g1w4	7700	1000	9	26499	0	0	0	0	ss400
g2w1	7900	1000	9	0	3280	0	0	0	ss400
g2w2	8626	1000	9	7906	3280	0	0	0	ss400
g2w3	9968	1000	9	16531	3280	0	0	0	ss400
g2w4	7700	1000	9	26499	3280	0	0	0	ss400

図-6 ウェブのテーブル

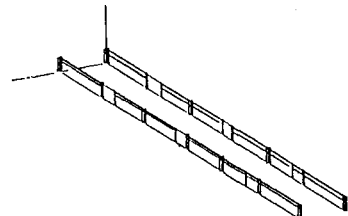
ベース内部で寸法や曲率などに対処するための改善が必要である。



(a) The Webs and the Flanges



(b) The Main Girders, the Bracings and the Slab



(c) The Webs and the Stiffeners

図-7 3次元透視図の例

数値データは、Prologからの要求に応じてFortranを媒体として取り出され中間ファイルを経て、グラフィックスモジュールへ渡される。

グラフィックスモジュールは受け取った数値データを基に、図-7のような3D透視図を描く。部品ごとに分けて表示することも可能である。現時点での限界としては曲線部材についての取扱いができず、データ

4. 教育システムの試作

ここまでのシステムに、図-8に示すような橋梁用語検索機能、図や写真のイメージデータ、橋梁細部についてのアプリケーションデータ、ユーザーインターフェイスを加え、メニュー形式によるシンプルな教育システムとして応用を試みた。橋梁用語は、主に橋梁用語辞典¹²⁾や橋梁の教科書に沿った内容であり、可能

な限りあらゆる時点で検索ができるようにしている。

また、アプリケーションデータは図-9に示すような、橋梁の構造において学びにくい部分や通常の講義ではカバーされにくい部分に焦点をあてている。本システムは力学的な教育を、まだカバーしておらず、学生に対し、橋梁の構造的な理解を支援することを目的としている。さらに現場と工場の工程の違いによる設計上の影響など、実際の製作や架設に関する事項も必要であると考え、今後つけ加えていく予定である。

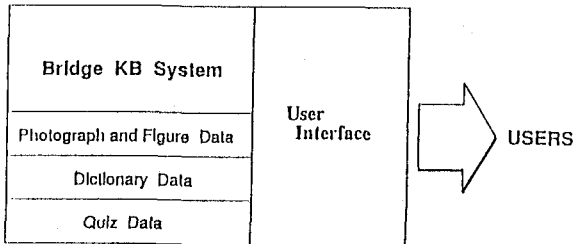


図-8 教育システムの要素

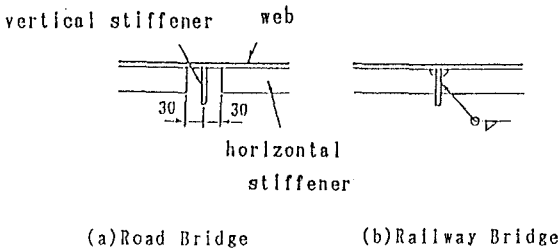


図-9 補剛材の交差部

5. 結論

本研究は橋梁の構造を、Prolog言語を用いた知識ベースへ効果的に記述し利用するための基礎的研究であり、従来のデータベースのような低いレベルの処理から、一步高い位置での処理へ抜け出すことを意図している。得られた結論は次の通りである。

- (1) 3方向から橋梁部品の状態をとらえることにより、可能な限り普遍性をもった形で知識ベースとして記述できた。

- (2) 知識処理と従来型のデータベース処理および3次元グラフィックス処理を併用することにより、実用可能なシステムの作成が可能であることを示した。

- (3) 橋梁部品の局所的な状態を知識ベース化し、再編成することを通じ、全体的な知識の生成が可能であることを示した。

- (4) 橋梁知識ベースシステムを、学生を対象とした橋梁教育システムに応用することによって、全体的な構造から細部にわたる理解を支援できることを示した。

本研究で扱った橋梁の知識処理は、まだ、ごく初歩的なものであり、実用化するためには種々の問題を解決する必要がある。たとえば、設計、製作、架設、維持管理に共通化して扱えるように橋梁を表現するためには、非常に多くの部品を論理表現するとともに、多くの数値データを一括して扱う必要がある。また、今回扱った収束的な知識のみでなく、橋梁の一般的な形態やその制約に関する知識を備えた知識ベースが必要であろう。特に、設計に適用する場合は、発散的思考 (divergent thinking) から設計に必要な断片を引き出すアプローチも求められる。維持管理においては、補修履歴情報をどのように組み込むかが、大きな課題となる。

しかし、今回扱った橋梁の論理的表現は、単なる3次元形状の幾何モデルを利用するだけでは不可能な知識処理を可能とし、橋梁計画、橋梁設計法、橋梁製作・架設および維持管理に新しい視点をあたえる可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) Maher, M. L. : HI-RISE : A Knowledge-Based Expert System for the Preliminary Structural Design of High Rise Buildings, Thesis for the Degree of Ph.D submitted to Carnegie-Mellon University, 1984.
- 2) Bratko, I. : Prolog Programming for Artificial Intelligence, Addison-Wesley, 1986.

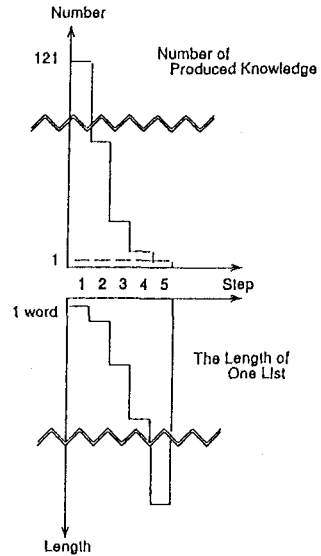
cial Intelligence, Addison-Wesley Publishing Co. , 1986.

- 3) Frenzel, L. E. Jr. : Understanding Expert Systems, Howard W. Sams & Company, pp.73-93, 1987.
- 4) Mishkoff, H. C. : Understanding Artificial Intelligence, Howard W. Sams & Company, pp. 129-132, 1985.
- 5) Henry, K. and Bart, S. : A General Framework for Knowledge Compilation, AI Principles Research Department, AT&T Bell Laboratories, 1991.
- 6) Eastman, C. M. and Preiss, K. : A Review of Solid Shape Modelling Based on Integrity Verification, Butterworth & Co (Publishers) Ltd, 1984.
- 7) PHIGS Manuals, O'Reilly & Associates, Inc., 1992.
- 8) RIM Users Manual, University Computing Services, University of Washington, 1990.
- 9) 大須賀節雄 : データベースと知識ベース, オーム社, 1989.
- 10) 溝口理一郎 : 知識工学からのエキスパートシステム, 土木学会関西支部, 土木工学へのエキスパートシステムの適用と可能性, pp.3-14, 1992.
- 11) 三上市蔵・渡邊英一・古田均・宮本文穂・田中成典 : 土木技術分野でのエキスパートシステムの応用, 構造工学・橋梁工学分野, 土木学会関西支部, 土木工学へのエキスパートシステムの適用と可能性, pp.27-34, 1992.
- 12) 佐伯影一 : 橋梁用語辞典, 山海堂, 1986.

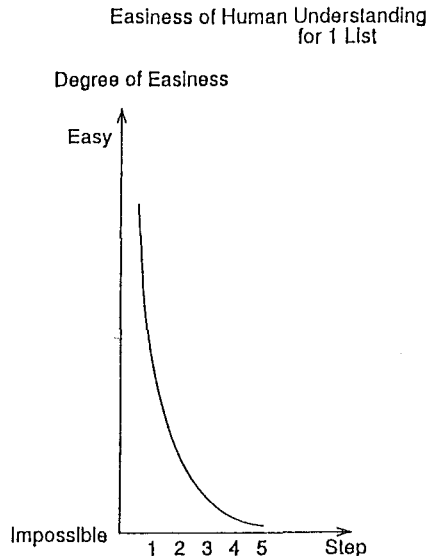
付 録

3. で示した知識の再編成における過程を補足する図を示す。図A-1は、再編成の各段階における知識の数とリストの長さを示したものである。図A-2は

この知識を人間が見たときの理解度を模式的に描いたものであり、3次元図形処理の必要性が分かる。また図A-3は、最終的なリストの一部である。



図A-1 知識の数とリストの長さ



図A-2 人間の理解度

